

# Pompen

P. Smaardijk

1.	Inleiding	Y2070- 3
1.1.	Pompcapaciteit en opvoerhoogte	Y2070- 3
1.2.	Pompkeuze en ontwerpeisen	Y2070- 3
1.3.	Bedrijfszekerheid	Y2070- 3
1.4.	Veiligheid	Y2070- 4
1.5.	Afdichting (= seal)	Y2070- 4
1.6.	Lekkages	Y2070- 4
1.7.	Slijtage	Y2070- 4
2.	Pomptypen en hun kenmerken	Y2070- 5
2.1.	Verdringerpompen	Y2070- 6
2.1.1.	Verdringerpompen met pulserende werking	Y2070- 6
2.1.2.	Verdringerpompen zonder pulserende werking	Y2070- 8
2.2.	Stromings- of impulspompen	Y2070-12
2.3.	Diverse andere pompen	Y2070-14
3.	Waaivormen	Y2070-20
4.	Grootheden die pompprestaties bepalen	Y2070-22
5.	Begrotingsmethoden	Y2070-23
5.1.	Pompen	Y2070-23
5.2.	Aandrijfeenheden	Y2070-25
6.	Aandrijfeenheden	Y2070-25
6.1.	Elektromotoren	Y2070-25
6.2.	Stoomturbines	Y2070-25
6.3.	Dieselmotoren	Y2070-28



## 1. Inleiding

Vloeistofpompen dienen voor het transport en/of de drukverhoging van vloeistoffen. Voor drukverlaging (onderdruk) in een proces past men een vacuümpomp toe.

### 1.1. Pompcapaciteit en opvoerhoogte

Er is een grote verscheidenheid aan pompen, die – al naar gelang hun functie – zeer uiteenlopend zijn. De volgende eenheden zijn maatbepalend voor de pompselectie: *capaciteit*, *opvoerhoogte*, *type* en het *constructiemateriaal* waaruit zij zijn vervaardigd. Capaciteit en opvoerhoogte bepalen het *vermogen van de pomp*, het *rendement* zijn energieverbruik.

#### *Capaciteit:*

De capaciteit (Q) is de in de tijdseenheid nuttig geleverde hoeveelheid in m<sup>3</sup>/sec. (gebruikelijk zijn ook l/s en m<sup>3</sup>/h).

Ontlast- en lekvloeistof zijn niet in de capaciteit begrepen.

#### *Opvoerhoogte:*

De opvoerhoogte (H) van een pomp is de op de te transporteren vloeistof over te dragen nuttige mechanische arbeid, relaterend aan het gewicht van de getransporteerde vloeistof, uitgedrukt in m. Zij is onafhankelijk van het soortelijk gewicht van de vloeistof, dat wil zeggen een centrifugaalpomp transporteert vloeistoffen onafhankelijk van het soortelijk gewicht op gelijke opvoerhoogte. Het soortelijk gewicht bepaalt de druk in de pomp en bepaalt het vermogen van de pomp.

### 1.2. Pompkeuze en ontwerpeisen

Het pomptype en het constructiemateriaal waaruit de pomp – en wel speciaal de aan het produkt blootgestelde gedeelten – is vervaardigd, kiest men op grond van de specifieke toepassing, dat wil zeggen het vereiste debiet en drukverschil, de werktemperatuur en werkdruk, verder produkteigenschappen zoals dampspanning, viscositeit, al of niet smerende werking, neiging tot vervuiling of verstopping, corrosiviteit en erosiviteit, brandbaarheid, giftigheid.

### 1.3. Bedrijfszekerheid

Aan bedrijfspompen, die gedurende lange perioden continu moeten kunnen lopen, worden hoge eisen aan bedrijfszekerheid gesteld, daar uitval tot *kostbare bedrijfsstoornissen* en stilstanden kunnen leiden (productieverliezen). Zo nodig kan men een reservepomp installeren.

ren, doch dit doet men, met het oog op de kosten, alleen wanneer dit werkelijk essentieel is. In overleg met de pompfabrikant (leverancier) wordt bepaald welke kritische onderdelen op magazijnvoorraad gewenst zijn.

Bij het beoordelen of een reservepomp al dan niet nodig is, neemt men in aanmerking hoe groot de kans op een storing is, wat de consequentie daarvan is, en binnen hoeveel tijd de storing kan worden verholpen door reparatie.

#### 1.4. Veiligheid

Een zwaarwegende overweging is onder alle omstandigheden de *veiligheid*. Bijvoorbeeld, men eist voor de voedingspompen van stoomketels – om het gevaarlijke droogkoken van de ketels te voorkomen – een bijna absolute bedrijfszekerheid, die alleen door het opstellen van een reservepomp voor het ketelvoedingswater kan worden bereikt.

#### 1.5. Afdichting (= seal)

Bij vloeistoffen is de *asafdichting* een belangrijk probleem, niet alleen uit een oogpunt van produktverliezen en bedrijfszekerheid (onklaar raken van de afdichting noodzaakt tot uit bedrijf nemen van de pomp voor de duur van de reparatie), maar vooral uit een oogpunt van *veiligheid* en *milieuhygiëne*.

#### 1.6. Lekkages

Lekkage van pompen die gasvormige of vluchtige produkten verpompen kan zeer ernstig zijn vanwege brand- en explosiegevaar of de mogelijke toxische eigenschappen van het produkt. Zeer geringe lekkages, ook van in geringe concentratie niet-toxische produkten, kunnen reeds hinderlijke luchtverontreiniging veroorzaken.

Lekkage van niet-vluchtige vloeistoffen kan tot verontreiniging van bodem (en daarmee van grondwater) en van oppervlaktewater aanleiding geven. Reden waarom men de pompen in een bak (staal of beton) plaatst met een aansluiting op een speciaal afvoersysteem.

#### 1.7. Slijtage

Bevat de vloeistof vaste deeltjes, bijvoorbeeld katalysatorsuspensie, zand en dergelijke, dan kan sterke *erosie* van de roterende delen optreden. Bij centrifugaalpompen kan ook een sterke aantasting van de waaier plaatsvinden door *corrosie* en/of *cavitatie* (belvorming tijdens ronddraaien waaier).

Bij de opstelling van de pomp is het belangrijk dat voor een goede

fundering, uitlijning en spanningsvrije pijpleiding-bevestiging gezorgd wordt en dat de mechanische spelingen van de bewegende delen binnen de voorgeschreven toleranties vallen.

De fabricage van pompen vindt vrijwel uitsluitend in gespecialiseerde bedrijven plaats. Er zijn zeer veel verschillende pomptypen verkrijgbaar en de meeste fabrikanten hebben een gevarieerd programma, aangepast aan alle mogelijke specifieke verpomproblemen. De catalogi van de fabrikanten geven hierover de nodige informatie.

## **2. Pomptypen en hun kenmerken**

Men onderscheidt naar de wijze, waarop de vloeistof verplaatst wordt:

### *Hoofddeling:*

1. verdringerpompen;
2. stromingspompen;
3. diverse andere pompen.

### *Sub 1a. Verdringerpompen met pulserende werking<sup>1</sup>*

1. plunjerpompen;
2. zuigerpompen;
3. membraanpompen.

### *Sub 1b. Verdringerpompen zonder pulserende werking*

1. tandradpompen (uit- en inwendige vertanding);
2. worm- of schroefspindelpompen;
3. schroefpompen.

### *Sub 2. Stromings- of impulspompen*

1. centrifugaalpompen;
2. axiaalpompen.

### *Sub 3. Diverse andere pompen*

1. vijzels;
2. waterring vacuümpompen;
3. schottenpompen;

1 Pulserende werking wil zeggen: een met regelmatige tussenpozen optredende vermindering respectievelijk vermeerdering van een vloeistof- of gasstroming, bijvoorbeeld een slagzuigpomp met voet- en zuigklep.

## Y2070-6 Pompen

4. stoomstraalpompen of injecteurs;
5. waterstraalpompen of ejecteurs.

Verder kunnen pompen zijn:

- a. zelfaanzuigend;
- b. niet-zelfaanzuigend;

Een korte beschrijving van enige soorten volgt hierna.

### 2.1. *Verdringerpompen*

#### 2.1.1. *Verdringerpompen met pulserende werking*

In deze pompen wordt de vloeistof door een vast lichaam verdron- gen of voortgestuwd, waarbij de drijvende kracht rechtstreeks op de vloeistof wordt overgebracht. Het vaste lichaam dat de vloeistof voor zich uit drijft, kan een zuiger, een massieve staaf, een mem- braan zijn.

Voorbeelden van reciprocerende verdringerpompen zijn *zuigerpom- pen* (zie fig. 1), *plunjerpompen* (zie fig. 2), *membraanpompen* (zie fig. 3). Men kan reciprocerende pompen uitvoeren met een constant of met een variabel slagvolume. Essentieel en kenmerkend is het ge- bruik van *kleppen*. Men kan het principe van de reciprocerende ver- dringerpomp ook zo zien, dat het vloeistoftransport tot stand komt, doordat een door vaste wanden omsloten ruimte, waarin zich de vloeistof bevindt, periodiek kleiner en groter gemaakt wordt.

#### *Zuigerpompen en plunjerpompen*

Bij de *zuigerpomp* (zie fig. 1) beweegt zich een zuiger in een cilin- drisch huis heen en weer, waarbij er voor een goede vloeistofafdich- ting tussen zuiger en cilinderwand is gezorgd. Bij de aanzuigende slag opent zich de *zuigklep* 1 en sluit zich tegelijkertijd de *persklep* 2, zodat de vloeistof in de cilinder toestroomt. Bij de persende slag sluit zich de zuigklep en opent zich de persklep, zodat de zuiger de vloeistof naar buiten kan persen. Constructieve problemen centre- ren zich bij dit pomptype vooral om de zuigerafdichting en de klep- penfunctie.

Bij de *plunjerpomp* (zie fig. 2) gebruikt men een staafvormig verdrin- gerlichaam dat zich vrij in de vloeistof heen en weer beweegt, en in het pomphuis is afgedicht. Het verdringerlichaam kan massief of, ter vermindering van de traagheidskrachten bij de heen- en weer- gaande beweging, hol zijn uitgevoerd. De pompwerking verkrijgt men ook weer met hulp van kleppen.

*Membraanpompen*

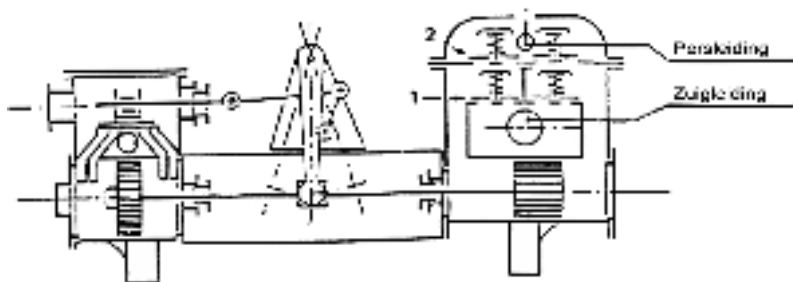
Bij de membraanpomp (zie fig. 3) wordt perslucht afwisselend naar de achterkant van de membranen gezonden.

De membranen zijn aan elkaar verbonden met behulp van een verbindingsstang.

Door toelating van de lucht in de ene luchtkamer zal het ene membraan een persslag maken en het produkt wordt via de persklep naar buiten geperst. Het andere membraan maakt een zuigslag en het produkt wordt via de zuigklep aangezogen.

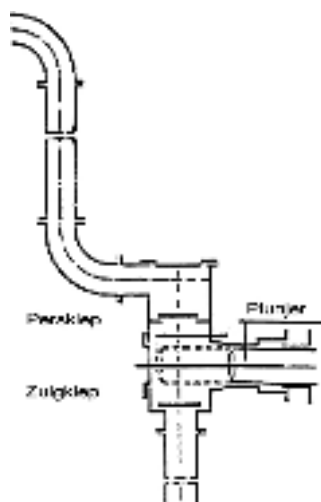
Deze pompen vinden toepassing in velerlei gebieden zoals farmaceutische-, voedingsmiddelen-, verf-, porcelein- en aardewerk- en de papierindustrie.

0838-0576

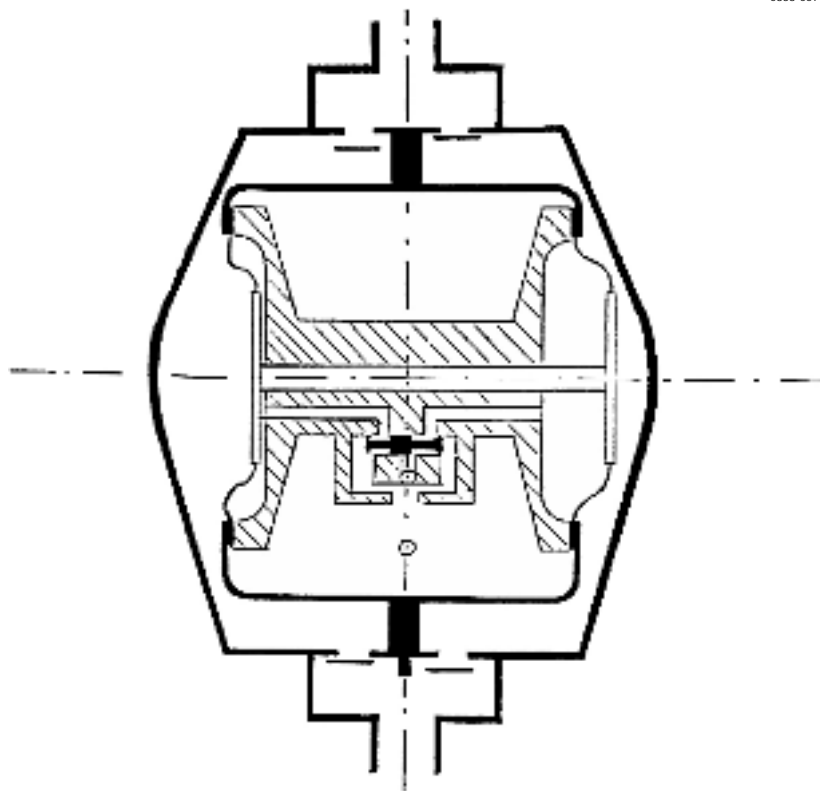


*Figuur 1. Zuigerpomp.*

0838-0737



*Figuur 2. Plunjerpomp enkelwerkend.*



*Figuur 3. Membraanpomp.*

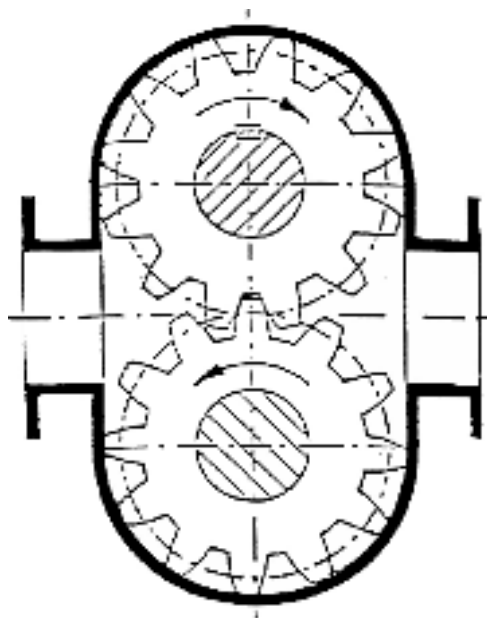
### *2.1.2. Verdringerpompen zonder pulserende werking*

*Tandwielpompe*: (zie fig. 4 en 5)

Een *tandwielpompe* (zie fig. 4) bestaat uit twee in elkaar grijpende in tegengestelde richting draaiende tandwielen en een huis. Bij de rotatie van een tandwiel neemt deze de vloeistof, die zich in de tandwielkuilen (ruimte tussen de tanden) bevindt, mee van de lagedrukzijde van het huis naar de hoge drukzijde.

Het toerental van deze pompen is laag, zodat bij aandrijving door een elektromotor, toerenreductie moet worden toegepast, hetzij door een tussen de motor en pomp geplaatste tandwielkast, hetzij door middel van snaarschijven op de motor en pompas.

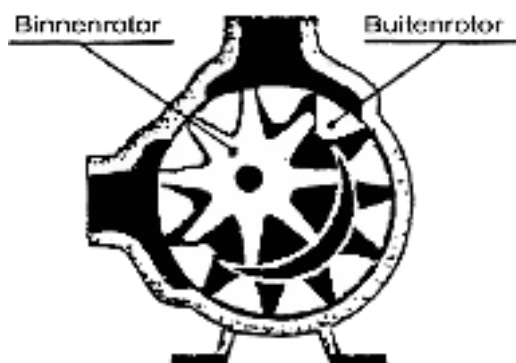




*Figuur 4. Tandwielpompe.*

Een ander type tandwielpompe is de zgn. „Vikingpompe”. De pompe bevat ook slechts twee bewegende delen namelijk de aangedreven buiten- en binnenrotor (zie fig. 5); in tegenstelling met de hiervoor besproken pompe wordt bij deze pompe de buitenrotor aangedreven. Deze draait concentrisch in het pomphuis, dat weer is voorzien van een zuig- en persaansluiting, die onder een hoek van  $90^\circ$  ten opzichte van elkaar staan.

De binnenrotor wordt aangedreven door de buitenste en is ten opzichte van deze excentrisch geplaatst. De tanden van deze rotor grijpen slechts op een plaats in die van de buitenrotor en lopen verder geheel vrij. De afdichting tussen zuig en pers geschiedt dan ook niet alleen door de tanden, doch door een sikkelvormig passtuk, dat de vrije ruimte tussen de rotoren opvult. Langs de binnenronde van de sikkel draaien, zuiver passend, de tanden van het binnenrondsel, terwijl de buitenronde van de sikkel passend sluit tegen de tandtoppen van de buitenrotor. Het sikkelvormige gedeelte is als één geheel gegoten met het pompeksel. Dit deksel bevat ook de astap, waaromheen de binnenrotor draait.



Figuur 5. Vikingpomp.

#### *Wormpomp*

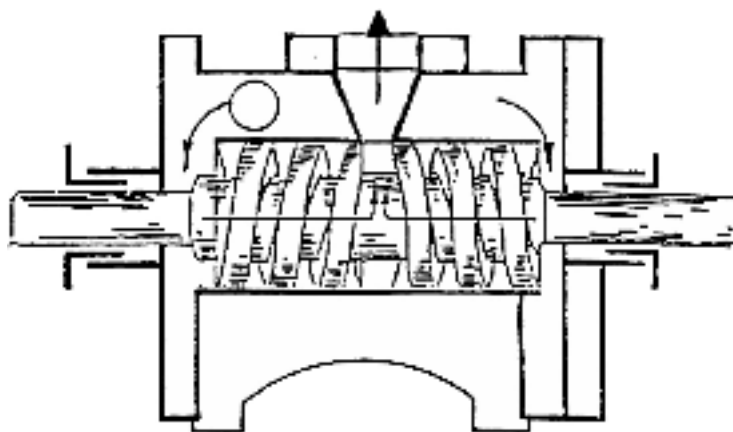
Wanneer we een *worm* (= spindel) plaatsen in een cilindrisch eromheen sluitend huis, ontstaat er een schroefvormig gewonden kanaal tussen wormas en huis (zie fig. 6). Is deze ruimte met vloeistof gevuld, dan zal bij rotatie van de worm deze vloeistof in axiale richting voortstuwen.

De opbrengst van een wormpomp is continu en stijgt evenredig met het toerental. Zij worden in serie gefabriceerd voor capaciteiten van 5-1000 m<sup>3</sup>/h met een opvoerhoogte tot 160 m WK en worden met name gebruikt voor visceuse, plastische en pasteuse produkten. Naarmate de viscositeit stijgt, moet de pomp met een lager toerental opereren. Voor stollende of hoogvisceuse produkten worden de pompen ook uitgevoerd met verwarming door middel van stoom of warmtemedium. Men gaat tot werktemperaturen van 350 °C. De pakkingen en lagers kunnen worden gekoeld.

#### *De schroefpomp*

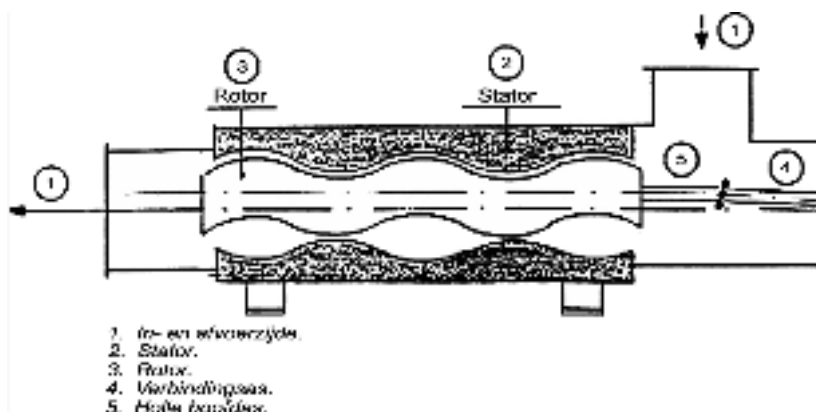
De Mono-pomp is een schroefverdringerpomp met slechts een ronddraaiend onderdeel namelijk de pompas, die met een zogenaamde rotor een geheel vormt. Deze rotor is spiraalvormig en draait in een zogenaamde stator, die inwendig ook spiraalvormig is uitgedraaid. Deze stator is in het pomphuis geperst. Figuur 7 is een doorsnede-tekening van deze pomp.

0838-0580



*Figuur 6. Wormpomp.*

0838-0738



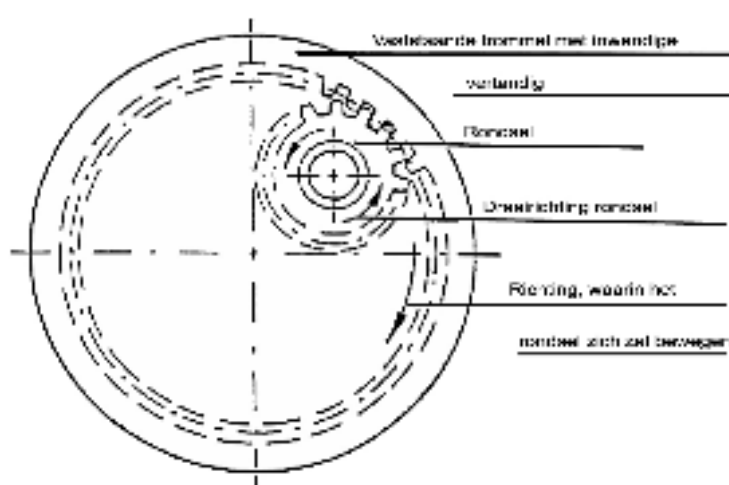
*Figuur 7. Schroefverdringerpomp.*

De rotor zal, doordat rotor en stator elkaar op een bepaalde manier raken, een samengestelde beweging uitvoeren. Hij zal door de draaiing van de pompas om zijn eigen as draaien, terwijl de rotoras, in een kleine cirkel, in tegengestelde richting zal draaien.

Om van deze samengestelde beweging een idee te vormen kunnen we ons het beste een vaste trommel met inwendige vertanding voorstellen waarbinnen een rondsel linksom om zijn eigen as draait. De beweging van het rondsel ten opzichte van het middelpunt van de vaststaande trommel is dan rechtsom, zie figuur 8.

Theoretisch is de stator van de mono-pomp een trommel met inwendige spiraalvertanding en twee tanden, terwijl de rotor een rondsel is met spiraalvertanding en een tand. Om nu deze samengestelde beweging mogelijk te maken, wordt de rotor aangedreven door middel van een dubbele kruiskoppeling.

De rotor, zowel als de stator worden op speciale machines gemaakt en wel zodanig, dat elke loodrechte doorsnede op de rotoras een cirkel is, terwijl ze langs de gehele rotoras dezelfde diameter hebben.



Figuur 8. Samengestelde beweging.

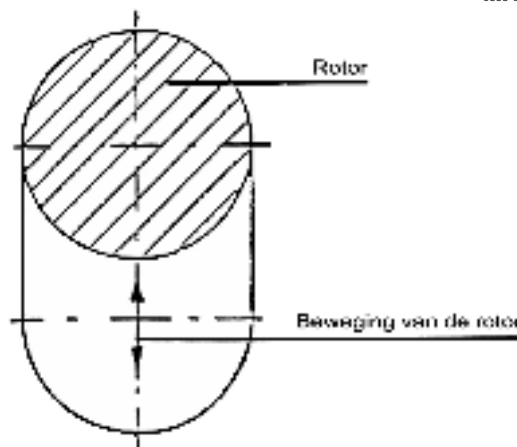
Als nu de rotor gedraaid wordt, zal de cirkelvormige dwarsdoorsnede van de rotor zich recht op en neer bewegen in de doorsnede van de stator, zie figuur 9.

In elke dwarsdoorsnede van de stator is de plaats, waar de rotordoorsnede zich op een willekeurig moment bevindt, verschillend, terwijl bij draaiing van de rotor ook de bewegingsrichting van de rotordoorsnede in de diverse statordoorsneden verschillend is.

Deze heen- en weergaande beweging, die in elke doorsnede van de stator plaatsheeft, zal een continue vloeistofverplaatsing tengevolge hebben in de lengterichting van de stator.

## 2.2. Stromings- of impulspompen

Deze pompen zijn gekenmerkt door de continue doorstroming van het medium, welke wordt bewerkt door impulsoverdracht met behulp van een roterende waaier („impeller”) of schroef („propeller”). Tot dit type behoren de *centrifugaal*- en *axiaal*pompen.



Figuur 9.

#### *Principe centrifugaal- en axiaalpompen*

Centrifugaal- en axiaalpompen zijn *stromingsmachines*. Deze brengen een medium (vloeistof, gas) door impulsoverdracht op een hogere druk en in stroming. Volgens het spraakgebruik spreekt men bij vloeistoffen bij voorkeur van pompen, bij gassen van ventilatoren en compressoren.

De impulsoverdracht vindt plaats door een roterende *waaier* (schoepenwiel of schoepenrad, de impeller, Laufrad) of een *schroef* (propeller), die de vloeistof versnelling geeft (kinetische energie). Dit kan na het uittreden van het medium uit de waaier voor een deel in druk worden omgezet door het passeren van leidschoepen en/of een difusor (een zich geleidelijk verwijdend kanaal).

De centrifugaalpomp is door zijn gunstige technische eigenschappen en door zijn flexibiliteit in ontwerp en constructie het meest gebruikte type in fabrieken.

De impulspompen kunnen in drie typen ingedeeld worden door te kijken naar de wijze waarop de vloeistofdoorstroming ten opzichte van de rotor en de aandrijvende as plaatsvindt. Als we de as als referentierichting nemen, gebeurt de toestroming altijd axiaal. Afhankelijk van waaier- en pompconstructie, kan de verdere doorstroming naar de drukzijde zuiver axiaal, zuiver radiaal of in een tussengelegen richting plaatsvinden. Bij de schroefpomp bijvoorbeeld is de stroming axiaal.

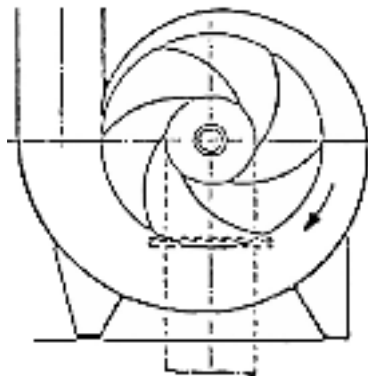
Men onderscheidt aldus:

- radiaalpompen (zie fig. 10);
- axiaalpompen (zie fig. 11).

Bij deze pompen geschiedt de aandrijving vanaf de elektromotor door middel van een koppeling.

Bij andere uitvoeringen van centrifugaalpompen geschiedt de aandrijving ook door middel van een elektromotor maar dan is de stator van de elektromotor de pompas of door middel van een magnetische koppeling waarbij een buitenmagneet door middel van een magnetisch veld de binnenmagneet rotor meeneemt en aldus de pomp in beweging zet.

0838-0583



Figuur 10. Centrifugaalpompe.

### 2.3. Diverse andere pompen

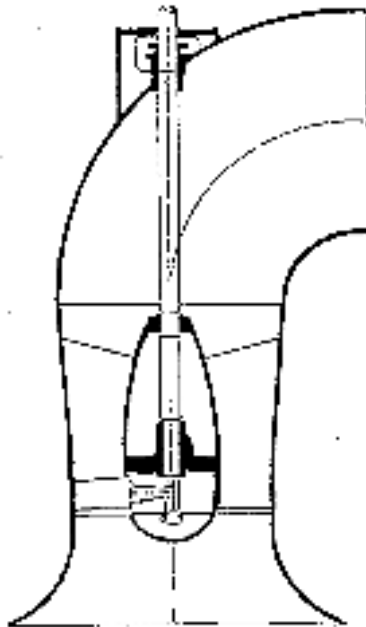
#### *Vijzels*

Een vijzel (zie fig. 12) is een transportschroef die in een goot draait. Vijzels worden onder een hoek geplaatst terwijl de goot aan de bovenzijde open is. De capaciteit is zeer groot maar de opvoerhoogte is laag.

#### *Waterring vacuümpompen*

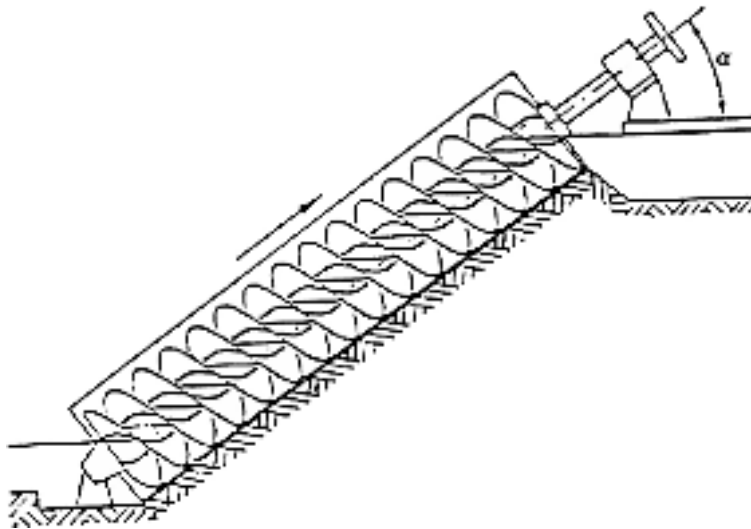
Wanneer een schoepenwaaier concentrisch in een ten dele met water gevuld huis draait, zal ten gevolge van de centrifugaalkracht een roterende ring van gelijke dikte ontstaan (zie fig. 13). Onafhankelijk van het aantal schoepen van de waaier zullen er evenveel luchtkamers ontstaan. Bij excentrische plaatsing van de schoepenwaaier blijft het aantal luchtkamers gelijk maar de grootte varieert, van 1 t/m 4 worden zij groter en van 5 t/m 8 kleiner. Bij groter worden ontstaat onderdruk, bij kleiner worden overdruk of compressie. Door de luchtkamers te verbinden met ruimten A en B zal de lucht uit ruimte B worden gezogen en in A worden geperst.

0838-0584

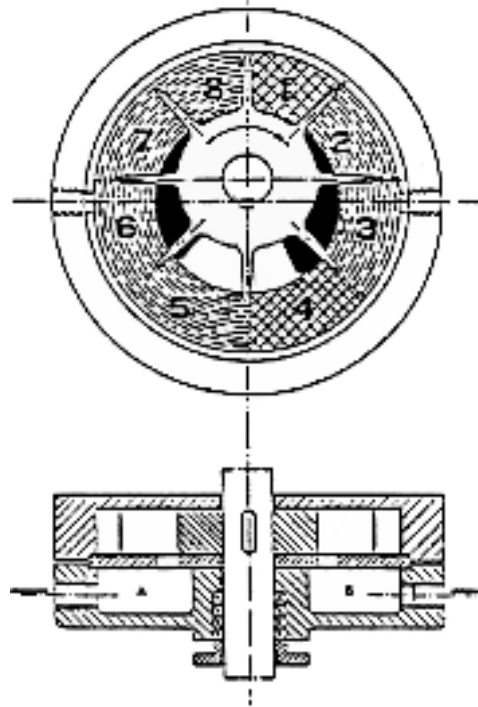


*Figuur 11. Axiaalpompe.*

0838-0585



*Figuur 12. Vijzel.*



Figuur 13. Waterringvacuümpomp.

### *Schottenpompen*

We onderscheiden hierin twee typen en wel:

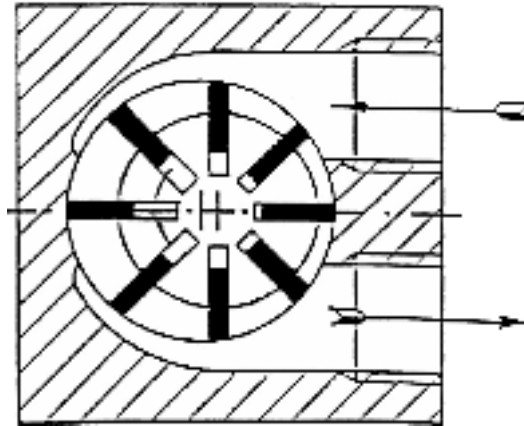
- a. pomp met schotten in de rotor;
- b. pomp met schotten in de stator.

#### *a. Schotten in de rotor*

Voor de werking zie figuur 14. In de rotor zijn gleuven aangebracht. In deze gleuven zijn schotten gemonteerd. Wanneer de rotor wordt aangedreven zullen door de centrifugaalkracht de schotten tegen de wand van het huis worden geslingerd. De rotor is excentrisch in het huis opgesteld. Hierdoor wordt gedurende een halve omwenteling de ruimte tussen twee schotten vergroot (zuigwerking) en gedurende een halve omwenteling wordt deze ruimte verkleind (perswerking). Is de excentriciteit van de rotor in het huis verstelbaar, dan is de opbrengst 0, wordt de rotor nog verder versteld, dan keert ook de stromingsrichting van de vloeistof om. Een nadeel van deze constructie is, dat de rotor niet uitgebalanceerd is, dat wil zeggen de druk aan de perszijde is groter dan aan de zuigzijde en hierdoor



0838-0587

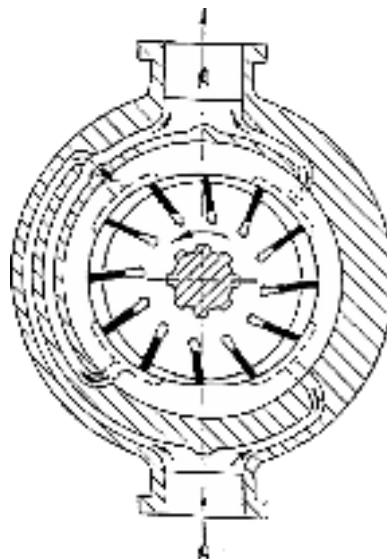


*Figuur 14. Schottenpomp.*

ontstaat een radiale kracht op de rotor, die door de lagering moet worden opgevangen.

Een andere uitvoering is die volgens figuur 15. De rotor is hierbij niet excentrisch geplaatst, doch het huis is ellipsvormig. Hierdoor ontstaat in een omwenteling tweemaal een zuigwerking en tweemaal een perswerking. De opbrengst is dus niet regelbaar, maar de rotor is hierdoor wel uitgebalanceerd.

0838-0588

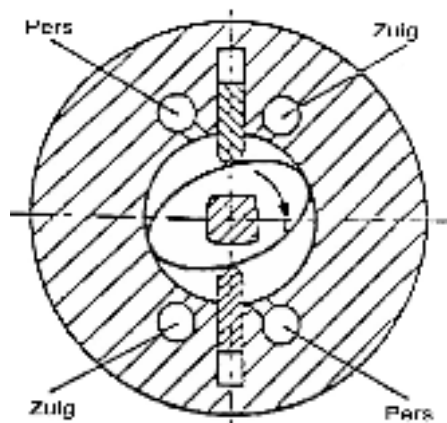


*Figuur 15.*

*b. Schotten in de stator*

In de stator zijn twee gleuven aangebracht, waarin nauwkeurig de schotten passen. De rotor is ovaal (zie fig. 16).

0838-0589

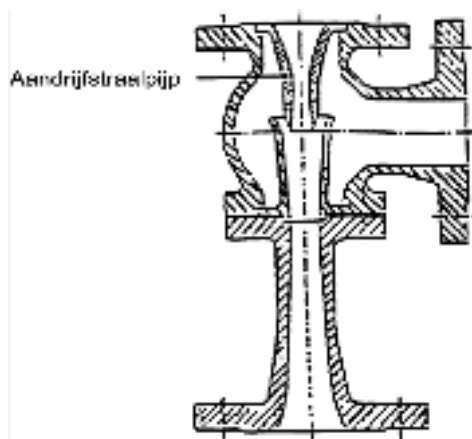


Figuur 16.

De schotten worden door een veertje op de rotor gedrukt, of in sommige gevallen ook door de persdruk. Per omwenteling vindt dus ook tweemaal een zuig- en een perswerking plaats. Door twee van deze pompen achter elkaar op dezelfde as te plaatsen is het mogelijk de totale opbrengst van beide pompen steeds constant te houden. De beide rotoren zitten dan 90° gedraaid ten opzichte van elkaar. Dit is een belangrijk voordeel voor het geluid, dat de pomp maakt.

*Stoomstraalpompen*

Deze pompen (zie fig. 17) werken meestal met stoom als aandrijfmiddel. Met gassen als aandrijfmiddel is ook mogelijk mits deze niet in de vloeistof worden opgenomen. De werking geschiedt volgens het straalpijpprincipe. In de aandrijfstraalpijp wordt de drukenergie in snelheidsenergie omgezet. Door de daarbij ontstane onderdruk wordt de vloeistof aangezogen. Er ontstaat een directe vermenging met het aandrijfmiddel zodat een condensatie of absorbtie plaatsvindt. De diffusor is zo uitgevoerd dat tevens een zo goed mogelijk omzetten van mengsnelheid in druk (opvoerhoogte) wordt bereikt. Men kan met de stoomstraalvloeistofpompen dus gelijktijdig transporteren, mengen en verwarmen. Opvoerhoogte bepaalt het stoomverbruik en daarmee ook de verwarming. Bij stijgende temperaturen neemt de te transporteren hoeveelheid af, echter dichtheid, specifieke



*Figuur 17. Stoomstraalpompe.*

ke warmte, viscositeit en kookpunt hebben natuurlijk ook invloed. Een groot voordeel is dat geen bewegende delen aanwezig zijn, de constructie is eenvoudig, vraagt weinig plaats en kan ook op ontoegankelijke plaatsen worden ingebouwd daar geen toezicht is vereist.

#### *Waterstraalpompen*

In tegenstelling tot de stoomstraalpompen wordt hier water als aandrijfmiddel toegepast. Ook hier geldt dat het aandrijfmiddel (water) de druk in de aandrijfstraalpijp omzet in snelheid.

Het te transporteren middel wordt door de mengwrijving van de uitkomende straal meegesleurd en op een tegendruk c.q. op een vereiste hoogte gebracht.

Bij lage opvoerhoogte fungeert de straalpompe voornamelijk als mengapparaat.

#### *Toepassing:*

In de chemische industrie vinden deze pompen veel toepassing waarbij de toepasbaarheid haast onbeperkt is. Te denken valt aan warm water voor dubbelwandige vaten (stoomstraalpompen), transport en verdunning van zoutzuur, natronloog, alsmede transport van as, kiezel, zand en graan.

### 3. Waaivormen

Voor de waaiers kent men vele uitvoeringsvormen: *gesloten* type waarbij de schoepen zich tussen twee schijven bevinden en *open* type waarbij de schoepenkanalen slechts aan een zijde afgedekt zijn. De waaierbreedte en de omtreksnelheid (= hoeksnelheid  $\times$  diameter) bepalen het debiet.

Het materiaal, de constructie en de vormgeving van de waaier richten zich naar het specifieke gebruiksdoel: vereiste Q/H, vloeistofeigenschappen (viscositeit, vluchtigheid, corrosiviteit, gehalte aan fijne en grove vaste stoffen, vezelstoffen, kristalbrei, enz.).

#### a. Schoepenwaaiers

Voor niet-verontreinigde transportmedia worden centrifugaalpompen met normale schoepenwaaiers uitgevoerd. Te beginnen met schoepenwaaiers waarin met toenemende capaciteit via de half-axiale waaier naar de axiaal waaier of schroefwaaier voor grote capaciteit en kleine opvoerhoogte.

#### b. Kanaalwaaiers

Voor visceuse (brei, houtpulp, vruchtenpulp, melasse, teer, bitumen, residuen, enz.) en voor verontreinigde, met aanwezige vaste deeltjes (erts, kool, mineralen) transportmedia worden schepwaaiers met vergrote waaieropeningen toegepast waarbij de eenkanaalwaaier een niet vernauwde doorsnee van in- tot uitgang heeft.

#### c. Open waaiers met wijde kanalen of schroefpompen

Voor modderig water en water met vaste stoffen.

#### d. Vrijstroom- of teruggetrokken waaiers (wervelradpompen)

Voor vuil water.

#### e. Turbinewaaiers

Toepassing voornamelijk bij zelfaanzuigende centrifugaalpompen voor niet-verontreinigde transportmedia.

#### f. Turbinewaaiers in speciale uitvoering

Toepassing voor niet-verontreinigde transportmedia bijvoorbeeld kleine capaciteiten en grote opvoerhoogte.

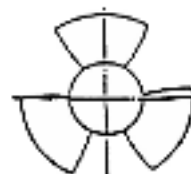
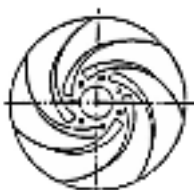
Voor afbeeldingen van diverse waaivormen zie pagina Y2070-21 en Y2070-22.

*Voorbeelden van waaivormen*

Voorbeelden van waaivormen

0838-0591

Schoeperswaaiers



Axiale waaier (schroefwaaier).

Radiaalwaaiers



Half axiale waaier gesloten.



Een-kanalenwaaier gesloten.



Half axiale waaier open.



Twee-kanalenwaaier.



Half axiale waaier gesloten  
taperstruwig uitgewand.



Drie-kanalenwaaier open.

## Speciale schoepenwaaiers



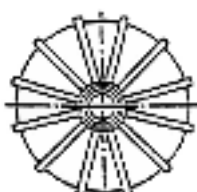
Drie-schoepenwaaier open.



Turbinewaaier.



Vrijstromwaaier.



Turbinewaaier in speciale uitvoering.



#### 4. Grootheden die pompprestaties bepalen

De grootheden die de pompprestatie bepalen zijn:

- debiet  $Q$  (volumestroom)  $\text{m}^3/\text{sec}$ ;
- opvoerhoogte  $H$  in m van de te verpompen vloeistof;
- vermogensrendement  $\eta$ .

Belangrijke parameters zijn de waaiergeometrie (o.a. diameter, aantal en vorm van de schoepen) en het toerental. Anders dan bij de positieve verdringerpompen, is bij de stromingsmachines het verplaatste volume niet constant, maar richt zich naar de tegendruk. Er treedt dus een „slip” in de vloeistofverplaatsing op, die des te groter is naarmate de tegendruk toeneemt. Voor een gegeven pomp hangen  $Q$  en  $H$  bij constant toerental  $\eta$  met elkaar samen.  $Q = f(H)$ .

Deze functie heet de *pompkarakteristiek*. Het is een belangrijk gegeven dat bij de pomp behoort en dat door de fabrikant voor elke door hem afgeleverde pomp moet worden verstrekt. Behalve de  $Q$ - $H$  kromme bevat de grafiek ook de *rendementen*  $n$  en *vermogenscurve*  $N$ .

De pomp kan met een waaier als *eentrapspomp*, maar ook met een aantal waaiers als *meertrapspomp* voor het bereiken van hoge persdrukken worden uitgevoerd.

Men kent zowel *horizontale bouw*, die met het oog op de asdoorbuiging en de vereiste nauwe toleranties, tot twaalf trappen is gelimiteerd, als *verticale bouw*, zonder begrenzing van het aantal trappen (dus geschikt voor zeer hoge persdrukken).

De formule om het aandrijfvermogen van een pomp (niet alleen centrifugaal) te bepalen is:

$$N = \frac{Q \times H \times \rho}{60 \times 75 \times \eta}$$

N in Pk  
 Q in l/min  
 H in meters  
 $\rho$  in kg/dm<sup>3</sup>  
 $\eta$  is rendement

Waaiers en pomphuizen voor corrosieve media worden met een bekleding uitgevoerd zoals rubber, bakeliet, eboniet, plastic, epoxyhars. In speciale gevallen worden waaier en pomphuis in zijn geheel uit epoxyhars of keramiek uitgevoerd.

*Specifiek toerental:*

De waaier wordt getypeerd door een dimensieloos kengetal, het *specifieke toerental* (ns).

$$ns = n \frac{Q^{0,5}}{(g.H)^{0,75}}$$

Q in m<sup>3</sup>/s  
 H in m  
 n = r.p.m. (omw./min.)  
 g = versnelling zwaartekracht.

## 5. Begrotingsmethoden

### 5.1. Pompen

De kostenbepaling voor een *centrifugaalpomp* is weergegeven in onderstaand schema. Voor de kostenbepaling wordt uitgegaan van een bepaalde basis. Als de pomp van deze basis afwijkt, wordt er (voor het onderdeel dat afwijkt) met een factor gecorrigeerd of additionele kosten toegevoegd.

*Schema:*

Gegeven:

- capaciteit
  - opvoerhoogte
  - constructiemateriaal
  - werkdruk
  - werktemperatuur
  - ontwerpeisen
- Pomptype
- A  
↑  
↓  
B

*A. Basisprijs*

Q-H kromme geeft waaierdiameter, uitstroomdiameter (= discharge nozzle) en het aantal benodigde kW voor aandrijving. Met behulp van de waaierdiameter en uitstroomdiameter en constructiemateriaal komt men tot de kosten van een basispomp via overzichtstabellen.

*B. Bijkomende kosten:*

- materiaal: factor afhankelijk van het gewicht van de pomp;
- afdichting: toevoegen afhankelijk van soort;
- afdichtingssysteem: toevoegen afhankelijk van soort;
- smeersysteem: toevoegen afhankelijk van soort;
- koelwatersysteem: toevoegen afhankelijk van soort;
- aandrijfeenheid: elektromotor met of zonder frequentieregelaar, stoomturbine, dieselmotor, etc.
- koppeling en beschermkap;
- voetplaat of „base plate”;
- montagekosten van pomp en motor op voetplaat.

Een deel van de chemiepompen is genormaliseerd volgens DIN 24255-24256.

Bij aanbiedingen en opdrachten aan leveranciers van deze normpompen zijn de prijzen onderling vergelijkbaar omdat deze gebaseerd zijn op het zelfde pomptype en dezelfde Q/H karakteristiek. In alle catalogi van pompleveranciers vindt men een grafiek met de Q, de H en het type/model nummer.

Men kan nu overzichtstabellen maken waarin *ondermeer* kunnen staan:

- projectnummer;
- te verpompen medium;
- type/model;
- capaciteit;
- opvoerhoogte;
- materiaal;



- ontwerpdruk;
- ontwerp temperatuur;
- ontwerpisen (wel of geen seals);
- motorvermogen;
- toerental;
- motor eisen;
- aanbiedingsprijs;
- opdrachtprijs;
- datum aanbidding/opdracht;
- leveringscondities (ex works, etc.).

De overzichtstabellen kunnen gemaakt worden voor elk pomptype en vormen zo de basis van het pompen prijzen bestand.

- Pompprijzen kunnen ook in grafieken worden uitgezet waarbij per type materiaalsoort en uitvoering op de Y-as de prijs en op de X-as het motorvermogen wordt aangegeven. Afwijkingen in uitvoering ten opzichte van de grafiek corrigeren met factoren.

### *5.2. Aandrijfeenheden*

Voor de kostenbepaling wordt uitgegaan van een bepaalde basis. Als de drijfeenheid van deze basis afwijkt wordt er (voor het onderdeel dat afwijkt) met een factor gecorrigeerd.

## **6. Aandrijfeenheden**

Pompen kunnen worden aangedreven door de volgende typen aandrijfeenheden:

### *6.1. Elektromotoren*

Deze motoren worden onderscheiden in laag- en hoogspanningsmotoren. Laagspanningsmotoren zijn motoren met een voltage van circa 220-600 V; hoogspanningsmotoren met een voltage van circa 3-11 kV. Elektromotoren hebben een constant toerental. Bij toepassing van een frequentieregelaar is een variabel toerental van de motor en dus ook de pomp mogelijk.

Verder wordt nog onderscheid gemaakt in een soort uitvoering: explosiebeveiligd, opstelling, koeling e.d.

### *6.2. Stoomturbines*

#### *a. Indeling:*

Stoomturbines kunnen op de volgende manieren worden ingedeeld:

*1. Gelijkdrukturbines en overdrukturbines*

Principe gelijkdrukturbine:

Bij de gelijkdrukturbines is de stoomdruk naar het loopwiel gelijk aan de stoomdruk achter het loopwiel. Dit type turbine werd vroeger actieturbine genoemd. Bij deze turbines zijn de schoepen meestal symmetrisch, terwijl de stoomsnelheid tussen de loopschoepen constant blijft. De expansie van de stoom vindt alleen plaats in de straalbuizen of leischoepenkransen.

Principe overdrukturbine:

Bij de overdrukturbines is de stoomdruk voor het loopwiel hoger dan de stoomdruk achter het loopwiel. Dit type turbine werd vroeger reactieturbine genoemd. Bij deze turbines zijn de schoepen asymmetrisch, terwijl de stoomsnelheid tussen de schoepen toeneemt. De expansie van de stoom vindt plaats zowel in de leischoepenkransen als in de loopschoepen.

*2. Axiale en radiale turbines*

Afhankelijk van de richting waarin de stoom de rotor doorloopt.

*3a. Condensatieturbines*

Waarbij alle afgewerkte stoom naar een condensor wordt geleid (fig. a).

*3b. Tegendrukturbines*

Waarbij alle afgewerkte stoom naar de buitenlucht wordt afgeblazen of voor verwarmingsdoeleinden wordt gebruikt (fig. b).

*3c. Tweedrukturbines*

Welke gevoed worden met verse stoom van twee verschillende drukkens (fig. c).

*3d. Aftapturbines*

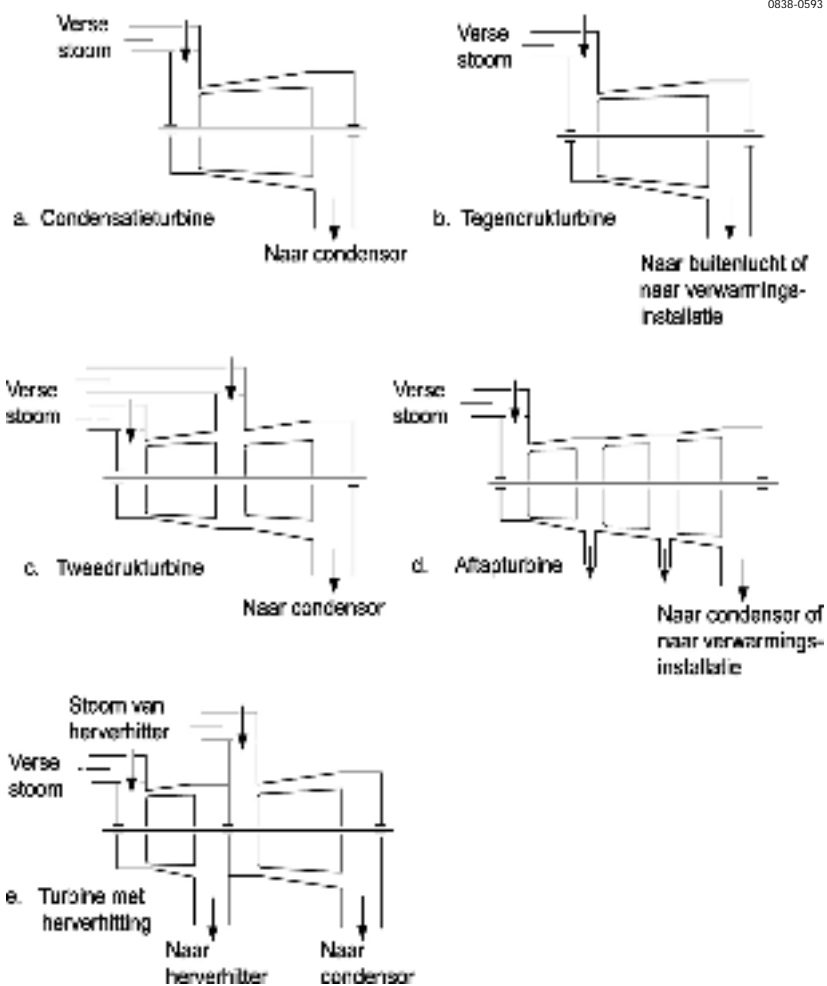
Waarbij een bepaalde hoeveelheid stoom wordt afgetapt, terwijl de rest als tegendrukstoom ontwijkt, de aftaptegendrukturbine, of naar een condensor wordt gevoerd, de aftapcondensatieturbine (fig. d).

*4. Een- of meerhuizige turbines*

Als de verschillende drukgroepen in een, twee of meer huizen zijn ondergebracht, eventueel verdeeld over twee assen.

*5. Turbines met of zonder herverhitting (fig. e)*

0838-0593



## 6. Land- en scheepsturbines

### 7. Voorspanturbines

Die worden toegepast als een bestaande turbine een te klein vermogen heeft en men een ketel van grotere capaciteit en hogere druk aanschaft. De voorspanturbine wordt dan voor de bestaande turbine geschakeld, en is dus een tegendrukturbine.

### 8. Mengturbines

Deze bestaan uit een hogedrukturbine die met ketelstoom wordt gevoed en een lagedrukturbine die via een stoomaccu wordt gevoed

met afgewerkte stoom. Als er niet voldoende afgewerkte stoom beschikbaar is, moet de mengturbine geheel op verse stoom werken. De regeling van mengturbinen is gecompliceerd. De benaming mengturbine wordt ten onrechte gebruikt voor zoelly- of parsons- turbinen met voorgeschakeld curtis-wiel. De benaming compoundturbine wordt soms gebruikt voor turbinen waarbij de expansie van de stoom in meerdere trappen plaatsvindt, dus voor meertrapsturbinen.

*b. Selectie stoomturbinesoort:*

De keuze hangt niet alleen af van de grootte van het vermogen, maar vooral van het verlangde rendement, de prijs en de bedrijfszekerheid. Hierbij gaan een hoog rendement en een hoge prijs samen. Niet altijd is een meertrapsturbine de juiste oplossing, omdat de prijs per geleverde kWh maatgevend is en deze prijs wordt afgeleid uit de kosten van brandstof, aanschaffingsprijs en dergelijke. Een turbine voor klein vermogen zal zo eenvoudig mogelijk worden uitgevoerd, daar in het algemeen een dure uitvoering met hoog rendement niet rendabel is. Deze turbinen worden uitgerust met een, hoogstens twee druktrappen met snelheidstrappen, omdat de overdrukturbine volle bestrijking nodig heeft, hetgeen de regeling moeilijk maakt.

Voor grote turbinen komen alleen meertrapsuitvoeringen in aanmerking, eventueel meerhuizig of zelfs verdeeld over enige assen. Daar men bij deze turbinen nagenoeg vrij is in de keuze van de uitvoering, zal het noodzakelijk zijn dat de betrokken fabriek over voldoende gegevens en ervaring beschikt.

Voor het bouwen van turbinen komen dan ook alleen fabrieken in aanmerking die over een langjarige ervaring beschikken, terwijl een uitgebreid specialistisch machinepark ter beschikking moet staan.

*6.3. Dieselmotoren*

Bij de luchtcomprimerende motoren wordt de lucht in de cilinder gecompriëerd tot een zodanige druk dat de eindcompressietemperatuur hoog genoeg is om de ingespoten brandstof te verdampen, te kraken en te ontsteken door zelfontbranding. Gedurende de compressie bevindt zich geen brandstof in de cilinder. De brandstofinspuiting begint pas als de compressieslag bijna voltooid is. Deze motoren noemt men ook wel inspuitsmotoren. Dit arbeidsproces wordt toegepast bij de dieselmotoren.